نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۲۰-۲۰۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 207-220

فراتحلیل اثر کاربرد سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد گیاهان زراعی در ایران

محسن جهان[۱*]، مهدی نصیری محلاتی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف فراتحلیل نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در کشور و پاسخ به این سوال کلی که آیا کاربرد این مواد به‌طور کلی موفقیت‌آمیز بوده یا خیر و اگر موفق بوده چه مقدار از آن قابل توصیه است، صورت گرفت. برای انجام این پژوهش، مقاله‌های منتشرشده با موضوع تأثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی (شامل غلات، حبوبات، گیاهان دارویی و مرتعی) مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه فراتحلیل نشان داد که میانگین مصرف سوپرجاذب برای غلات، گیاهان دارویی، حبوبات و گیاهان مرتعی به‌ترتیب، ۸۳، ۳۲۲، ۱۰۳۱ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار بود و با مصرف این مقدار سوپرجاذب، میانگین عملکرد دانه در غلات، گیاهان دارویی و حبوبات در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب ۱۳/۲، ۱۱/۲ و ۲۷/۵ درصد (معادل ۱۰۵۹، ۳۴۵ و ۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک معنی‌دار و بر شاخص برداشت ناچیز است. اندازه اثر کاربرد سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک در تمام سطوح بیشتر از اندازه اثر آن بر عملکرد دانه بود. بیشترین اندازه اثر بر عملکرد دانه، مربوط به مصرف ۱۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار بود و مقادیر بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، بر خلاف عملکرد ماده خشک، تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد دانه نداشت. با توجه به نتایج، به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم سوپرجاذب در هکتار از نظر میزان تأثیر بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک و جنبه اقتصادی، مناسب‌ترین مقدار باشد.

واژه‌های کلیدی: حبوبات، غلات، گیاهان دارویی، متاآنالیز

مقدمه

اساسی‌ترین مشکل کشاورزی به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است. در این مناطق نه‌تنها مقدار کل نزولات جوی کم است، بلکه توزیع آن در طول فصل رشد نیز غیریکنواخت بوده و بر نیاز آبی محصول منطبق نیست. تنش خشکی محدودکننده‌ترین عامل در تولید عملکرد محصولات زراعی در سراسر جهان به‌شمار می‌رود (Bannayan *et al.*, 2010). ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره‌ی زمین، با مشکل کم آبی جدی مواجه است. رشد فزاینده‌ی جمعیت و نیاز بیشتر به محصولات کشاورزی و محدودیت منابع آب و خاک به‌عنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله‌ی کم‌آبی را به گونه‌ای بسیار جدی فراروی کشور قرار داده است. مصرف بهینه آب در تولید محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر رشد و نمو گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است (Bayat *et al.*, 2009; Kohestani *et al.*, 2009; Mirzaei *et al.*, 2005). بهینه‌سازی عوامل مؤثر در تولید و مدیریت کاربرد آب در مزرعه باعث صرفه‌جویی در منابع محدود آب و حفاظت از خاک شده و علاوه بر آن موجب افزایش محصول خواهد شد. تاکنون، تلاش‌های زیادی صورت گرفته تا مصرف آب توسط گیاهان زراعی را کاهش دهند، یا به‌عبارت دیگر، به‌ازای هر قطره آب، محصول بیشتری تولید شود. در فهم پاسخ‌های فیزیولوژیکی گیاهان زراعی نسبت به تأمین آب، هنوز پتانسیل‌های ذاتی بسیاری، همانند رهیافت‌های ژنتیک مولکولی برای بهبود بیشتر وجود دارد (Morison *et al.*, 2008).

رضا و همکاران (Reza *et al.*, 2012) بیان کردند که توزیع مجدد آب از تبخیر خاکی به سمت تعرق گیاهی، از طریق مدیریت بقایا و طراحی تناوب زراعی، کلید افزایش کارایی مصرف آب است. فرآیندهای زیربنایی در اکثر پیشرفت‌های صورت گرفته در بهبود کارایی مصرف آب، به اتفاق پیشنهاد می‌کنند که تحقیقات باید ظرفیت جذب آب توسط گیاه را هدف خود قرار دهند. دنگ و همکاران (Deng *et al.*, 2006) در کنار سازوکارهای بیولوژیکی ذخیره آب و تکنولوژی‌های آبیاری صرفه‌جویانه شامل: آبیاری کم فشار، آبیاری جویچه‌ای، مالچ‌های پلاستیکی، آبیاری قطره‌ای زیر پلاستیک، جمع‌آوری آب باران، تراس‌بندی، از کم‌آبیاری، کوددهی تکمیلی و اصلاح ارقام جدید، به‌عنوان راه‌کارهای افزایش کارایی مصرف آب نام بردند.

۱- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: jahan@um.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.68101

کاربرد برخی از مواد افزودنی اصلاح‌کننده نظیر هیدروژل‌های سوپر جاذب به‌منظور استفاده‌ی بهینه از آب در کشاورزی به‌منظور افزایش ظرفیت نگه‌داری آب در خاک، سال‌ها است که در دنیا در سطح تجاری مورد توجه قرار گرفته است. در ایران نیز به‌تازگی توجه برخی محققین به این موضوع معطوف شده است (Salar *et al.*, 2005; Talayi and Asadzadeh, 2004; Karimi 2000; Moosavi and Attar, 2004) به‌عنوان مثال استفاده از هیدروژل‌های سوپر جاذب به‌عنوان پلیمرهای به شدت آب‌دوست برای کاهش اثرات مضر تنش خشکی توصیه شده است (Kohestani *et al.*, 2009; Dabhi *et al.*, 2013). در همین ارتباط، افزایش فواصل آبیاری در نتیجه ی بهره‌گیری از هیدروژل‌های سوپرجاذب‌ها به‌عنوان راهکاری اساسی جهت صرفه‌جویی و استفاده‌ی بهینه‌ی آب مدنظر قرار گرفته است (Islam *et al.*, 2011). امروزه از پلیمرهای سوپرجاذب به‌شدت آب‌دوست به‌عنوان یک ماده افزودنی به خاک و مخزن بالقوه‌ای برای عناصر غذایی و آب در کشاورزی استفاده می‌شود و نقش آن‌ها در کاهش شدت اثرات تنش خشکی و میزان صدمات وارده به گیاهان و همچنین افزایش تولید محصولات زراعی در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است (Abedi-Koupai *et al.*, 2008; Koohestani *et al.*, 2009; Zhong *et al.*, 2012). خواص این مواد به عوامل زیادی از جمله خصوصیات ترکیبی و شیمیایی آنها، بافت خاک، گونه گیاهی و نیز عوامل محیطی، وابسته می‌باشد (Chatzopoulos *et al.*, 2000; Dabhi *et al.*, 2013).

در این پلیمرها مقادیر زیادی آب حاصل از بارندگی یا آب آبیاری (به میزان ۵۰۰–۲۰۰ میلی لیتر آب به ازای هر گرم وزن خشک پلیمر) ذخیره شده (Bowman and Evans, 1991) و از نفوذ عمقی و تلفات آن جلوگیری می‌شود و در صورت نیاز در شرایط خشکی در اختیار گیاه قرار می گیرد (Wang and Wang, 2010; Nykanen *et al.*, 2011; Zhong *et al.*, 2013). گزارش شده که پلیمرهای سوپرجاذب نیاز به آب آبیاری را ۱۵ تا ۵۰ درصد کاهش می‌دهند (Dabhi *et al.*, 2013). مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمولاسیون، ناخالصی‌های آب و مقدار نمک موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپرجاذب متغیر است (Monnig, 2005). گفته شده که این پلیمرها می‌توانند رطوبت خاک و برخی عناصر غذایی را تا ۵ سال بعد از کاربردشان در زمین‌های کشاورزی حفظ کنند (Martin, 1997).

فرآیند ترکیب آماری نتایج پژوهش های مستقل و جداگانه، برای رسیدن به نتایج کلی درباره تیمارها یا واریانس ها، فراتحلیل[1] نامیده شده است. به بیان دیگر، این تکنیک خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین است که برای مقایسه پیامدها در طول دامنه وسیعی از مطالعات، روش‌های کمی را به‌کار می‌برد. در فراتحلیل که به‌واقع ترکیب کمی گزارش‌های تجربی مشابه است، مطالعات پژوهشی گردآوری، کدگذاری و با استفاده از روش‌های آماری، مشابه آن‌چه در تحلیل اولیه داده‌ها به‌کار می‌رود، تفسیر می‌شود (Hooman, 2007). روش‌های کمی فراتحلیل کمک می‌کند تا برخی از چالش‌های ناشی از وجود پاسخ‌های متعدد به یک پرسش پژوهشی واحد مورد بررسی قرار گیرد. فراتحلیل ترکیب نتایج عددی حاصل از چندین پژوهش و برآورد دقیق مشخصه‌ها و تبیین ناهماهنگی‌ها و نیز کشف عوامل تعدیل‌کننده و میانجی‌ها را در مجموعه یافته‌های پژوهشی ممکن می‌سازد (Hedges and Olkin, 1985; Rosenthal, 2001). فراتحلیل پژوهشگران را قادر می‌سازد تا تناقض‌ها و تفاوت‌های موجود در پژوهش‌های انجام شده را توجیه کنند و نسبت به آن‌چه در یک یا چند مطالعه مقدماتی یا حتی در بازنگری‌های غیرکمّی، سنتی و روایتی دیده می‌شود، به نتیجه‌گیری های ملموس، دقیق‌تر و معتبرتری دست یابند. وقتی اثر یک تیمار از یک پژوهش تا پژوهشی دیگر هماهنگ باشد، فراتحلیل برای تشخیص این اثر مشترک مفید است و زمانی‌که این اثر از یک بررسی تا بررسی دیگر تغییر کند، فراتحلیل ممکن است به تشخیص دلیل یا دلایل این تغییر کمک کند.

فراتحلیل را می‌توان به‌عنوان یک بازنگری پیشینه پژوهشی در نظر گرفت که مبتنی بر انگاره (پارادایم) تراکمیِ دانش است. زیرا مهم‌ترین فرض این انگاره آن است که دانش حالت تراکمی دارد و پژوهشگران بر اساس آثار و یافته‌های پژوهشگران قبلی، مطالعات خود را پیش می‌برند (Neuman, 2000). واحد آماری در فراتحلیل، یک پژوهش انجام شده قبلی است. رویکرد فراتحلیل به دلیل به‌دست دادن نتیجه‌گیری‌های مطمئن‌تر و عینی‌تر، در برجسته کردن و نیز تعدیل شکاف‌ها و تنگناهای موجود در پیشینه پژوهشی موضوع مورد مطالعه، مؤثر و مفید است و بینش لازم را درباره رویکردهای جدید برای پژوهش در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهد (Rosenthal, 2001). بر اساس نتایج حاصل از فراتحلیل، در مورد موضوعاتی معین با صراحت می‌توان گفت که «به پژوهش بیشتر، نیاز هست یا نیست» (Wolf, 1986).

وان گرونیگن و همکاران (Van Groenigen *et al.*, 2014) ضمن انجام فراتحلیل روی اثر کرم‌های خاکی در افزایش تولید گیاهی گزارش کردند که حضور کرمهای خاکی در اگرواکوسیستم‌ها به‌طور متوسط سبب افزایش ۲۵ درصدی عملکرد گیاهان زراعی و افزایش ۲۳ درصدی زیست‌توده بالای خاک شدند. آن‌ها بیان کردند که اثر مثبت کرم‌های خاکی زمانی‌که بخش بیشتری از بقایای گیاهی به خاک برگردانده شد، بیشتر بود و زمانی‌که فراهمی نیتروژن خاک بیشتر بود، این اثر کاهش یافت. آن‌ها نتیجه گرفتند که کرم‌های خاکی در کاهش خلاء عملکرد برای کشاورزانی که از کودهای نیتروژنی استفاده نمی‌کنند، تأثیری حیاتی دارند.

1- Meta-Analysis

سلطانی و سلطانی (Soltani and Soltani, 2014) با فراتحلیل اثر پرایمینگ بذر بر جوانه‌زنی، گزارش کردند که پرایمینگ باعث افزایش ۴ و ۷ درصدی در درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد شد. همچنین، استفاده از اسیدهای آلی و هورمون‌ها بیشترین افزایش در جوانه‌زنی را ایجاد کرد و بعد از آن استفاده از هیدروپرایمینگ بیشترین اثر مثبت را داشت. اسموپرایمینگ اثر منفی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی گذاشت و پرایمینگ بذر بر گیاهان دولپه‌ای نسبت به گیاهان تک لپه‌ای اثر مثبت بیشتری داشت.

با وجود انجام پژوهش‌های متعدد و ویژگی‌های مثبت و متعددی که برای پلیمرهای سوپرجاذب رطوبت و کاربرد آن‌ها در کشاورزی بیان شده، تاکنون جمع‌بندی و نتیجه‌گیری دقیقی در مورد این پژوهش‌ها صورت نگرفته است. از سوی دیگر، وجود تنوع در مقدار مصرف، شرایط و تیمارهای آزمایشی، رسیدن به یک نتیجه قطعی را برای پژوهشگرانی که یک یا تعداد معدودی از مقاله‌های مربوطه را مطالعه می‌کنند، ناممکن یا دشوار می‌سازد. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف مرور، بررسی و فراتحلیل نتایج پژوهش‌های انجام شده در کشور با هدف پاسخ به این سوال کلی که آیا کاربرد این مواد به‌طور کلی موفقیت‌آمیز بوده یا خیر و اگر موفق بوده چه مقدار از آن قابل توصیه است، صورت گرفت.

مواد و روش ها

منبع داده‌ها

برای انجام این پژوهش، مطالعات انجام شده بر روی تأثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد و اجزای عملکرد برخی گیاهان زراعی (شامل غلات، گیاهان دارویی و صنعتی) مورد بررسی قرار گرفتند. این مطالعات شامل ۳۲ مقاله علمی-پژوهشی بود که در فاصله سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶ به چاپ رسیده‌اند. مقالات به گونه‌ای انتخاب شدند که داده‌های لازم برای اجرای فراتحلیل در آنها موجود باشد. این اطلاعات ضروری شامل میانگین تیمار شاهد و تیمارهای کودی، انحراف معیار میانگین‌ها، واریانس خطای آزمایش و تعداد تکرار هستند (Hedges *et al.*, 1999). اطلاعات لازم از مقاله‌های مرتبط و مناسب استخراج گردید که شامل مشخصات پژوهش (عنوان پژوهش، محل و طول مدت اجرای پژوهش، نوع گیاه زراعی، نوع طرح آزمایشی، تعداد و نوع تیمارهای آزمایشی، مقادیر سوپرجاذب مصرفی، نتایج پژوهش و میزان تاثیر مقادیر مختلف سوپرجاذب بر روی هریک از فاکتورهای مورد مطالعه) بود که در ادامه جهت اجرای فراتحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

از میان ۳۲ مقاله مورد بررسی، ۱۳ مقاله برای فراتحلیل اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات مقاله‌های استفاده شده در جدول ۱ آورده شده است. ۱۶ مقاله از ۳۲ مقاله مورد بررسی فاقد داده‌های لازم برای فراتحلیل اثر سوپرجاذب بر عملکرد دانه، ماده خشک و شاخص برداشت بودند، با این حال، از برخی اطلاعات آن‌ها برای مثال جهت تعیین سطوح سوپرجاذب مصرفی استفاده شد (جدول ۲). سه مقاله نیز در خصوص تأثیر سوپر جاذب بر ویژگی‌های خاک بود و در آن‌ها گیاه زراعی وجود نداشت.

جدول ۱- برخی مشخصات مقاله‌های دارای داده و استفاده شده در پژوهش فراتحلیل اثر سوپرجاذب رطوبت

Table 1- Some information of articles used in meta-analysis of the effect of water superabsorbent

گونه زراعی Crop species	تعداد مقاله Article No.	نویسندگان Authors
ذرت Corn	4	جهان و همکاران، ۱۳۹۲؛ جهان و همکاران، (در دست چاپ)؛ کوهستانی و همکاران، ۱۳۸۸؛ خادم و همکاران، ۱۳۹۰؛ یوسفی فرد و همکاران، ۱۳۹۰ Jahan *et al.*, 2013; Jahan *et al.*, (In press); Koohestani *et al.*, 2009; Khadem *et al.*, 2010; Yousefi Fard *et al.*, 2010
گندم Wheat	1	غلامی و همکاران، ۱۳۹۱ Gholami *et al.*, 2012
نخود Chickpea	2	الهیاری و همکاران، ۱۳۹۲؛ رجبی و همکاران، ۱۳۹۱ Allahyari *et al.*, 2012; Rajabi *et al.*, 2011
لوبیا Bean	2	جهان و همکاران، ۱۳۹۲؛ جهان و همکاران، (پذیرش شده جهت چاپ) Jahan *et al.*, 2012; Jahan *et al.*, (Accepted)
سویا Soybean	1	روستایی و همکاران، ۱۳۹۱ Roostayi *et al.*, 2011
خردل Mustard	1	رحمانی و همکاران، ۱۳۸۸ Rahmani *et al.*, 2009
ریحان Basil	1	جهان و همکاران، ۱۳۹۴ Jahan *et al.*, 2014
کنجد Sesame	1	جهان و همکاران، (در دست چاپ) Jahan *et al.*, (In press)

جدول ۲- برخی مشخصات مقاله‌های فاقد مشخصات لازم و بدون داده که در بخشی از فراتحلیل مورد استفاده قرار نگرفت

Table 2- Some information of the articles, which did not meet required data and partly used in meta-analysis

گونه زراعی Crop species	تعداد مقاله Article No.	نویسندگان Authors
آتریپلکس Atriplex	1	زنگویی نسب و همکاران، ۱۳۹۱ Zanguyinasab *et al.*, 2012
لوبیا قرمز Kidney bean	1	پوراسماعیل و همکاران، ۱۳۸۸ Pour Esmaeel *et al.*, 2009
یونجه یکساله Alfalfa	2	محمدی و همکاران، ۱۳۹۰؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۹ Mohammadi *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2010
چمن اسپورت Bermudagrass	1	شیخ مرادی و همکاران، ۱۳۹۰ Sheykhmoradi *et al.*, 2011
ذرت علوفه‌ای Corn (forage)	1	کریمی و نادری، ۱۳۸۶ Karimi and Naderi, 2006
آفتابگردان Sunflower	2	رشدی، ۱۳۹۲؛ کریمی، ۱۳۸۰ Roshdi, 2013; Karimi, 2000
ذرت دانه‌ای Corn (grain)	2	فاضلی رستم پور و همکاران، ۱۳۸۹؛ فاضلی رستم پور و محبیان، ۱۳۹۰ Fazeli Rostampour *et al.*, 2000; Fazeli Rostampour and Mohebbian, 2010
خیار گلخانه‌ای Cucumber (greenhouse)	1	عابدی کوپایی و مسفروش، ۱۳۸۸ Abedi Koopay and Mesforush, 2009
فستوکا Festuca	1	سوری و معتمدی، ۱۳۹۴ Souri and Motamedi, 2015
بابونه Chamomile	1	پیرزاد و همکاران، ۱۳۹۱ Pirzad *et al.*, 2012
پانیکوم Panicum	1	بانج شفیعی و همکاران، ۱۳۸۸ Banch Shafiee *et al.*, 2009
گل جعفری Tagetes	1	دهباشی و همکاران، ۱۳۹۳ Dehbashi *et al.*, 2013
چغندرقند Sugar beet	1	جهان و همکاران، ۱۳۹۳ Jahan *et al.*, 2013

آنالیز آماری

شرح کامل روش محاسبات آماری فراتحلیل توسط Hedges and Olkin (1985) و Gurevitch and Hedges (1999) ارائه شده است و در ادامه مراحل انجام آن به اختصار توصیف می‌شود. اولین مرحله در اجرای فراتحلیل محاسبه اختلاف استاندارد میانگین تیمار شاهد و تیمارهای آزمایشی (تیمار سوپرجاذب) است که به آن اندازه اثر[1] (d) گفته می‌شود. بنابراین برای هریک از ۱۱ آزمایش مستقلی که در این فراتحلیل مورد بررسی قرار گرفتند یک مقدار d محاسبه شد (معادله ۱). لازم به ذکر است که اندازه اثر، هم برای میانگین سطوح سوپرجاذب و هم برای شاهد به‌طور جداگانه محاسبه شد.

$$d = \frac{\overline{X}_t - \overline{X}_c}{S_P} \times J \qquad \text{(۱) معادله}$$

که در آن $\overline{X}_c$ و $\overline{X}_t$ به‌ترتیب میانگین تیمارهای شاهد و سوپرجاذب، S_p انحراف معیار تلفیق شده میانگین‌ها و J ضریب تصحیح برای اریب بودن انحراف معیار میانگین‌ها می‌باشند. مقادیر J و S_p به‌ترتیب از معادلات ۲ و ۳ محاسبه می‌شود:

$$J = 1 - \left[\frac{3}{4(df_c + df_t) - 1}\right] \qquad \text{(۲) معادله}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{df_c(S_c{}^2) + df_t(S_t{}^2)}{df_c + df_t}} \qquad \text{(۳) معادله}$$

که در آنها S_c و S_t به‌ترتیب انحراف معیار میانگین شاهد و تیمار سوپرجاذب، df_c و df_t به‌ترتیب درجه آزادی شاهد و تیمار سوپرجاذب می‌باشند. در صورتی‌که مقادیر انحراف معیار میانگین‌ها در مقاله ذکر نشده باشد، می‌توان مقدار S_p را بر اساس واریانس خطای آزمایش (MSE) که در جداول تجزیه واریانس در مقالات ارائه می‌شود توسط معادله ۴ برآورد کرد:

1- Effect size

معادله (۴)

$$S_p = \sqrt{\left(\frac{n_c + n_t - 2}{n_c + n_t}\right) MSE}$$

که در آن n_c و n_t به‌ترتیب تعداد تکرارهای شاهد و تیمار هستند.

بدون شک همه آزمایش‌های تحت بررسی از دقت یکسانی برخوردار نیستند. بنابراین، لازم است که برای هر آزمایش متناسب با دقت آن، وزنی محاسبه شده و سپس مقدار اندازه اثر هر آزمایش به کمک آن موزون شود. به این منظور ابتدا واریانس اندازه اثر برای هر آزمایش (V_d) محاسبه می‌شود (معادله ۵):

معادله (۵)

$$V_d = \left[\frac{n_c + n_t}{n_c \times n_t}\right] + \left[\frac{d^2}{2n(n_c + n_t)}\right]$$

عکس این واریانس، وزن مربوط به آن آزمایش می‌باشد، به این ترتیب هر آزمایشی که واریانس کوچکتری داشته باشد وزن بیشتری خواهد داشت (Von Groenigen *et al.*, 2014):

$$w_i = \frac{1}{V_d}$$

در نهایت یک اندازه اثر کل یا تجمعی (d^*) محاسبه می‌شود که در واقع اختلاف استاندارد شده میان شاهد و تیمارهای کودی برای کلیه آزمایشات تحت بررسی می‌باشد (معادله ۶):

معادله (۶)

$$d^* = \frac{\sum w_i d_i}{\sum w_i}$$

و انحراف معیار آن (S_{d*}) نیز از معادله ۷ به‌دست خواهد آمد:

معادله (۷)

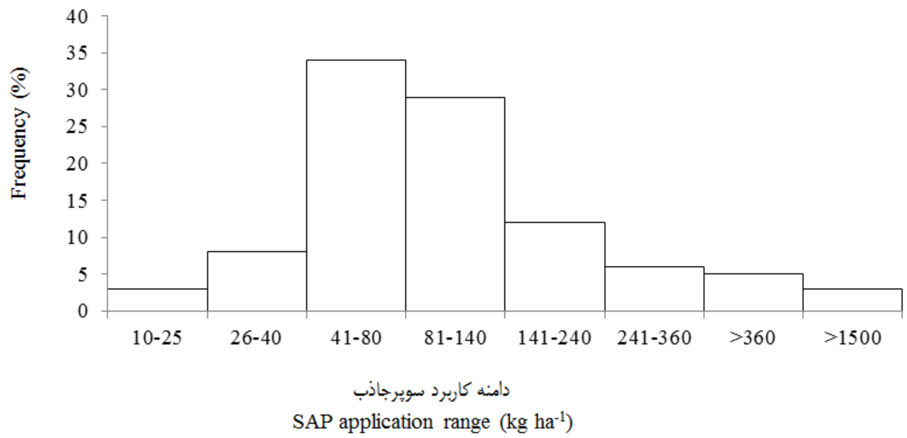
$$S_{d*} = \sqrt{\frac{1}{\sum w_i}}$$

آخرین مرحله از فراتحلیل، آزمون معنی‌داری d^* است، با معلوم بودن S_{d*} می‌توان فاصله اطمینان d^* را محاسبه کرد. چنانچه این فاصله اطمینان با صفر هم‌پوشانی داشته باشد، اندازه اثر تجمعی موزون شده (d^*) بی‌معنی بوده و شاهد با تیمار تفاوتی ندارد و در غیر این صورت اختلاف تیمار از شاهد به‌طور معنی‌داری از صفر بیشتر است. کلیه محاسبات و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

خلاصه نتایج آزمایش‌های تحلیل شده

فراوانی دامنه‌های مقادیر سوپرجاذب به‌کار رفته در ۲۹ مقاله مورد مطالعه (آزمایش بر روی گیاه انجام شده بود)، ارزیابی شد. در شکل یک توزیع فراوانی مقادیر سوپرجاذب مصرفی در واحد سطح در آزمایش‌های تحت بررسی نشان داده شده است. در ۷۴ درصد آزمایش‌ها، دامنه کاربرد سوپرجاذب بین ۲۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین فراوانی مربوط به دامنه کاربرد ۴۱ تا ۸۰ و پس از آن، ۸۱ تا ۱۴۰ کیلوگرم بود که روی هم، ۴۷/۷ درصد کل آزمایش‌ها را شامل شد. در مورد غلات (ذرت و گندم) دامنه مقادیر سوپرجاذب به‌کار رفته در آزمایش‌های مورد بررسی بین ۲۲/۵ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این مقدار، برای چهار گونه دارویی (گل جعفری *Tagete marigold* L.، بابونه *Matricaria chamomilla* L. و ریحان *Ocimum basilicum* L.)، بین ۳۰ تا ۳۶۰ و برای یک گونه دارویی (خردل *Sinapis arvensis* L.) ۲۲۵۰ تا ۳۱۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. دامنه مقدار کاربرد سوپرجاذب برای دو گونه لگوم (لوبیا قرمز *Phaseolus vulgaris* L. و نخود) بین ۱۵۰۰ تا ۳۱۵۰ و برای سه گونه لگوم (نخود دیم *Cicer arietinum* L.، سویا *Glycine max* L. و لوبیا *Phaseolus vulgaris* L.) بین ۹ تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. این دامنه برای سه گونه مرتعی، بین ۴۵ تا ۴۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب بود.



شکل ۱- توزیع فراوانی سطوح کاربرد سوپرجاذب در آزمایشات مورد بررسی

Figure 1- Frequency distribution of superabsorbent application levels in studied experiments

میانگین مصرف سوپرجاذب برای غلات، گیاهان دارویی، حبوبات و گیاهان مرتعی به‌ترتیب، ۸۳، ۳۲۲، ۱۰۳۱ و ۲۱۰ کیلوگرم در هکتار بود و با مصرف این مقدار سوپرجاذب، میانگین عملکرد دانه در غلات، گیاهان دارویی و حبوبات در مقایسه با تیمار شاهد، به‌ترتیب ۱۳/۲، ۱۱/۲ و ۲۷/۵ درصد (۱۰۵۹، ۳۴۵ و ۴۵۲ کیلوگرم در هکتار) افزایش یافت (جدول ۳).

جدول ۳- میانگین صفات مورد بررسی برای سه خانواده گیاهی در نتیجه کاربرد مقادیر مختلف سوپرجاذب

Table 3- The means of studied traits for three crop families as a result of different levels of superabsorbent application

	میانگین تیمارهای سوپرجاذب **Mean of SAP treatments**	میانگین تیمار شاهد **Mean of control Treatment**	ضریب تغییرات (%) **Coefficient of variations**	کمترین سطح سوپرجاذب **Min level of SAP**	بیشترین سطح سوپرجاذب **Max level of SAP**
غلات (۶ آزمایش) Cereals (Six experiments)					
عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	8013.7	6954.8	59.49	7398.8	8194.4
عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha^{-1})	31319.2	25248	78.28	29464	32976.2
شاخص برداشت Harvest index (%)	36.96	37.22	35.35	35.17	36.11
گیاهان دارویی (۳ آزمایش) Medicinal Plants (Three experiments)					
عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	3079.62	2734.61	38.49	3040.30	3119.45
عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha^{-1})	21323.5	17056	13.83	20823	21829.5
شاخص برداشت Harvest index (%)	15.45	14.64	31.44	15.18	14.1
حبوبات (۵ آزمایش) Pulses (Five experiments)					
عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	1642.47	1190.32	56.83	1526.22	1749.59
عملکرد ماده خشک Dry matter yield (kg ha^{-1})	3684.63	3301.30	63.84	3555.83	3796.12
شاخص برداشت Harvest index (%)	49.49	42.37	20.29	48.29	50.40

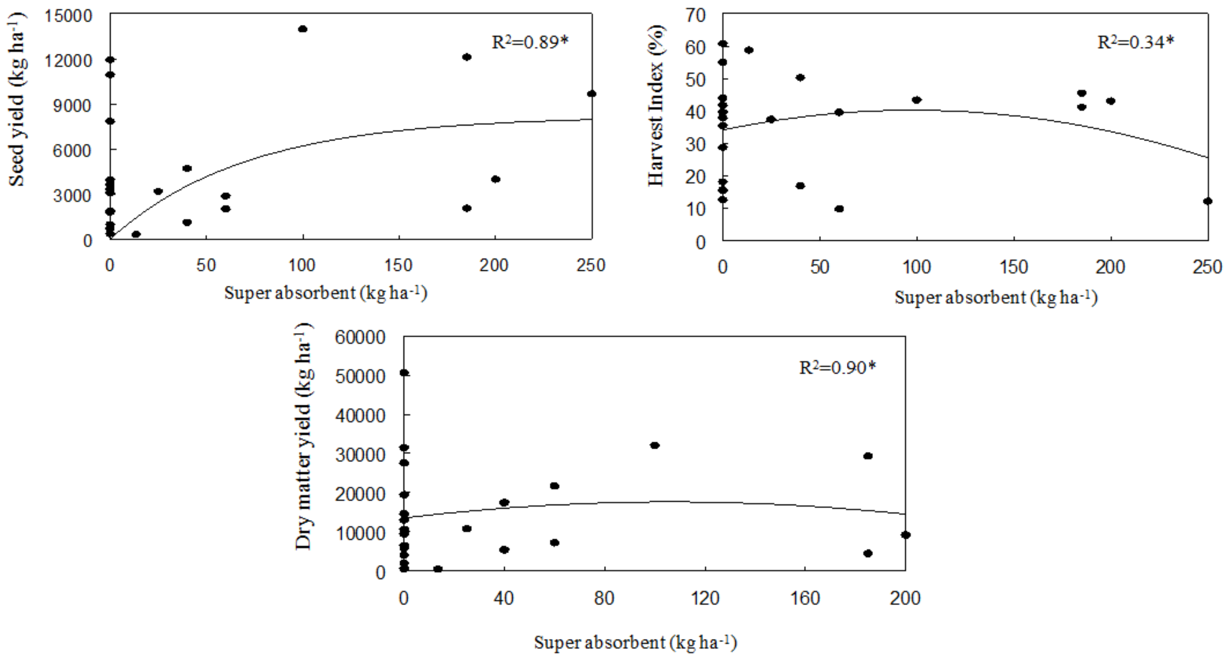
واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب

تلفیق داده‌های مربوط به ۱۴ آزمایش تحت بررسی نشان داد که واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب به‌ترتیب از فرم نمایی، درجه دو و درجه دو پیروی کرد (شکل ۲).

عملکرد دانه با افزایش سوپرجاذب تا حدود ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت خطی افزایش یافت و پس از آن به‌شکل نمایی از شیب آن کاسته شد. عملکرد ماده خشک به فرم تابع درجه دو به کاربرد سوپرجاذب واکنش نشان داد. واکنش عملکرد ماده خشک به کاربرد سوپرجاذب در مقایسه با واکنش عملکرد دانه، کندتر بود، به‌عبارت دیگر، شیب منحنی از نقطه‌ی صفر تا حدود ۶۰ کیلوگرم در هکتار، ملایم‌تر از شیب متناظر در شکل مربوط به واکنش عملکرد دانه بود، ضمن این‌که شیب منحنی در دامنه کاربرد ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم ثابت شد و پس از آن تا نقطه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، به‌تدریج از آن کاسته شد.

واکنش شاخص برداشت به کاربرد سوپرجاذب همانند عملکرد ماده خشک از فرم درجه دو پیروی کرد (شکل ۲)، با این تفاوت که پس از رسیدن به شیب ثابت در دامنه ۱۰۰ تا ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار، شیب نزولی آن شدیدتر از شیب کاهش عملکرد ماده خشک بود. گزارش شده است که وجود فرم درجه دو در واکنش عملکرد گندم و ذرت به افزایش نیتروژن کودی، بیان‌کننده نوعی بازده نزولی در سطوح بالای کود می‌باشد که به لحاظ آماری و زراعی به تأیید رسیده است (Nelson *et al.*, 1985). البته سراتو و بلکمر (Cerrato and Blackmer, 1990) با برازش انواع منحنی‌های پاسخ به کود در گیاهان زراعی مختلف و تحلیل آماری این معادلات نشان دادند که معادله درجه دوم که در نهایت به ثبات برسد، بهترین فرم آماری برای توصیف واکنش گیاهان به کود نیتروژن است. در مطالعه حاضر نیز، اگرچه منحنی‌های پاسخ با ثبات نهایی و بدون بازده نزولی برای

عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت، ضریب تبیین قابل قبول‌تری داشتند، ولی به دلیل کمتر کاربردی‌تر بودن آن‌ها و نیز برخی ملاحظات آماری، از فرم درجه دو استفاده شد. این روند با نتایج اغلب مطالعات تحت بررسی که به‌طور مستقل انجام شده اند انطباق دارد، البته نقطه نزول منحنی در مقالات تحت بررسی بسیار متفاوت است.



شکل ۲- واکنش عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت گیاهان به سطوح سوپرجاذب استفاده شده در آزمایش‌ها

Figure 2- Response of seed yield, dry matter yield and harvest index of studied crops in experiments to superabsorbent application levels

مقایسه آماری بین سطوح سوپرجاذب

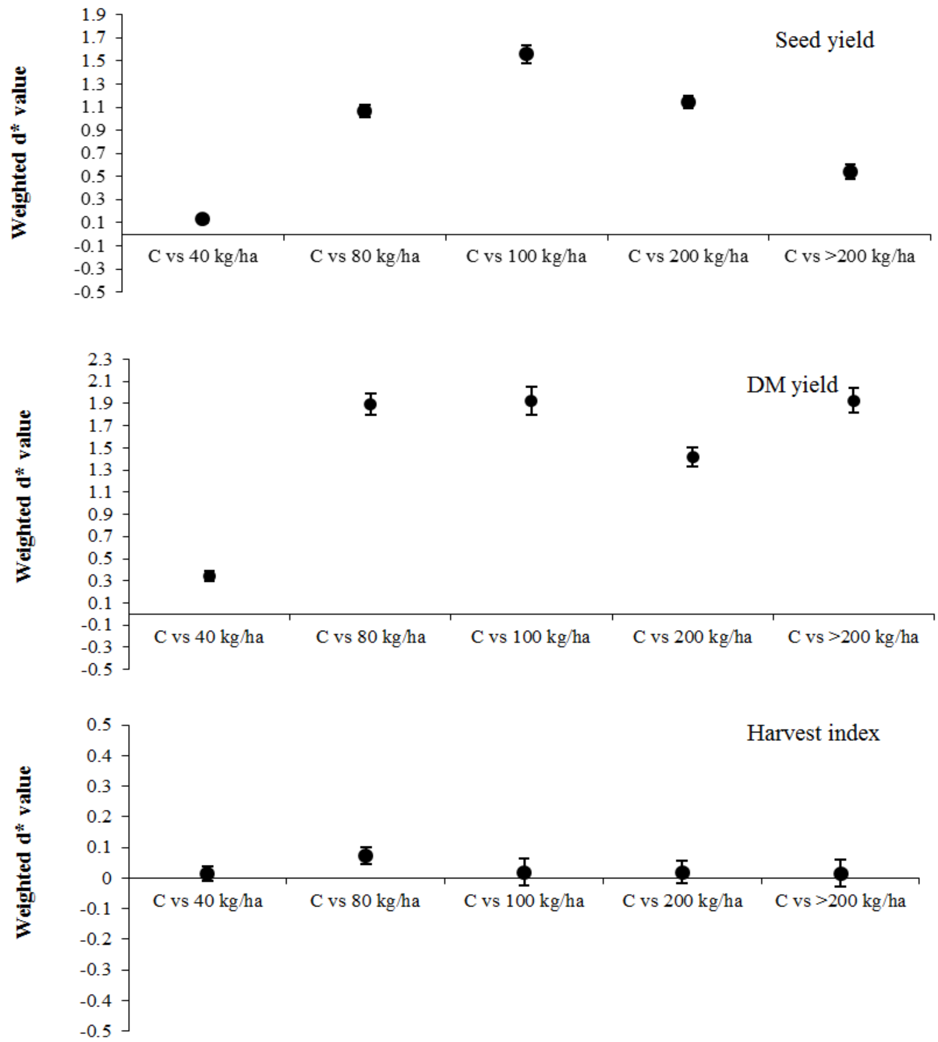
در شکل ۳، تیمار شاهد به‌طور جداگانه با سطوح مختلف کاربرد سوپرجاذب مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج فراتحلیل نشان داد که در مورد عملکرد دانه، بیشترین تأثیر سوپرجاذب در دامنه صفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب حاصل شد.

اندازه اثر سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک بارزتر و مقادیر عددی آن بیشتر از اثر آن بر عملکرد دانه بود. در سطح کاربرد بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، تفاوت بین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک، بسیار چشمگیر بود. همچنین، مقدار صفر تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از نظر تأثیر با مقدار صفر تا صد کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب تفاوت چندانی از نظر عملکرد دانه و تفاوت معنی‌داری از نظر تأثیر بر عملکرد ماده خشک نداشت.

شاخص برداشت فقط تحت تأثیر سطح کاربرد صفر تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب قرار گرفت، اگرچه برای سطح یاد شده نیز اندازه اثر ناچیز بود. یکسان بودن نسبی شیب تغییرات عملکرد دانه و ماده خشک به کاربرد سوپرجاذب، سبب شده تا شاخص برداشت که نسبت این دو متغیر است واکنش قابل‌توجهی به سطوح سوپرجاذب نشان ندهد (شکل ۳).

به‌طور کلی نتایج نشان داد که تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک قابل توجه و بر شاخص برداشت ناچیز است. اندازه اثر کاربرد سطوح مختلف سوپرجاذب بر عملکرد ماده خشک در تمام سطوح، بیشتر از اندازه اثر آن بر عملکرد دانه بود. در این ارتباط، سطوح ۸۰، ۱۰۰ و بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، بیشترین تأثیر را داشتند، اگرچه که اختلاف بین آن‌ها معنی‌دار نبود، ولی تفاوت این سه سطح با سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، معنی‌دار بود (شکل ۳). در مورد عملکرد دانه، سطوح ۱۰۰، ۸۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب، به‌ترتیب بیشترین تأثیر را داشتند، ضمن آن‌که تفاوت سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با دو سطح دیگر معنی‌دار و تفاوت سطوح ۸۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار با یکدیگر معنی‌دار نبود. بیشترین اندازه اثر بر عملکرد دانه مربوط به سطح ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بود و مقادیر بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار، بر خلاف عملکرد ماده خشک، تأثیر قابل‌توجهی نداشت (شکل ۳). با توجه به نتایج و مطالب بیان شده، به نظر می‌رسد که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب از نظر میزان تأثیر بر افزایش عملکرد دانه و ماده خشک، مناسب‌ترین سطح باشد و صرف هزینه و انرژی بیشتر در جهت کاربرد

مقادیر بیشتر سوپرجاذب، به پیروی از قانون کلی مبنی بر کاهش کارایی استفاده از منابع در مقادیر زیاد منابع، توجیه ندارد.



شکل ۳- مقایسه تأثیر سطوح مختلف سوپرجاذب رطوبت بر عملکرد دانه، عملکرد ماده خشک و شاخص برداشت گیاهان مورد مطالعه. خطوط عمودی فاصله اطمینان اندازه اثرتجمعی موزون شده در بین آزمایشات تحت بررسی است.

Figure 3- Comparison of the effect of different levels of superabsorbent application on seed yield, dry matter yield and harvest index of studied crops. Bars indicate the confidence intervals of accumulated weighted of the effect size among the investigated experiments.

اندازه اثر سطوح مختلف سوپرجاذب بر شاخص برداشت، ناچیز بود که با نتیجه فراتحلیل انجام شده روی نتایج پژوهش‌های مربوط به مصرف کود شیمیایی نیتروژنی در تولید غلات، همخوانی دارد (Koocheki *et al.*, in Press). گزارش‌های متعددی وجود دارد مبنی بر این که شاخص برداشت، صفتی وراثتی است و عوامل مدیریتی بر آن تأثیر چندانی ندارند. کنترل ژنتیکی شاخص برداشت در برنج *Oryza sativa* L. (Peng *et al.*, 2000)، گندم *Triticum aestivum* L. (Austin *et al.*, 1998) و ذرت *Zea mays* L. (Kiniry *et al.*, 2004) به تأیید رسیده است.

بخشی از تنوع موجود در نتایج آزمایش‌ها، به جنبه‌های آماری مثل ضریب تغییرات و تعداد تکرار در آزمایش‌ها برمی‌گردد و بخش دیگری از آن به شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و عوامل دیگر مربوط می‌شود. دابهی و همکاران (Dabhi *et al.*, 2013) ضمن مرور چندین آزمایش با موضوع بررسی اثر کاربرد سوپرجاذب، نتیجه گرفتند که تعیین میزان کاربرد پلیمر سوپرجاذب باید بر مبنای تحلیل نتایج تجزیه خاک و کیفیت آن، کیفیت آب مورد استفاده و نوع گیاه زراعی باشد. آن‌ها پیشنهاد کردند که به‌منظور پاسخ به این سؤال که آیا کاربرد سوپرجاذب می‌تواند عملکرد محصولات نقدینگی را بهینه سازد و در نتیجه شرایط اقتصادی و اجتماعی کشاورزان خرده‌پا و حاشیه‌ای

را بهبود بخشد یا خیر، به انجام آزمایش‌های بیشتری نیاز است. ضمن این‌که، برنامه‌های دولتی، سازمان‌های غیردولتی، موسسات تحقیقات کشاورزی و برنامه‌های آموزش عملی باید به کشاورزان در جهت به‌کارگیری این فناوری، آموزش‌های لازم را ارائه دهند.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که باوجود انجام پژوهش‌های متعدد در رابطه با تأثیر سوپرجاذب بر عملکرد گیاهان زراعی در کشور، نتایج حاصل بسیار متنوع بوده و از پراکندگی زیادی برخوردار است. این موضوع باعث شده است که با وجود تمایل و استقبال قابل توجه در به‌کارگیری این نهاده جدید در بخش کشاورزی، کاربرد بهینه آن هنوز مشخص نباشد. فراتحلیل به‌عنوان یک روش قدرتمند آماری ابزار مناسب و دقیقی را برای تلفیق نتایج آزمایشات مستقل فراهم نمود و دامنه‌های مشخصی را برای کاربرد سوپرجاذب تعیین نمود. مطالعه حاضر، بر اساس ارزیابی تأثیر کاربرد سوپرجاذب بر عملکرد دانه و ماده خشک انجام گرفت و ابعاد دیگر کاربرد سوپرجاذب مثل تأثیر آن بر صرفه‌جویی در میزان آب آبیاری و همچنین تأثیر بر کارایی مصرف عناصر غذایی نیز از اهمیت شایانی برخوردار هستند که در طراحی پژوهش‌های آینده باید مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد. طراحی و اجرای پژوهش‌هایی با محوریت برآورد و مقایسه مزیت‌های اقتصادی در مصرف آب در نتیجه کاربرد سوپرجاذب می‌تواند هزینه نسبتاً بالای این نهاده بوم‌سازگار را توجیه کرده و زمینه را برای به‌کارگیری گسترده آن توسط کشاورزان و تولیدکنندگان بخش زراعت و باغبانی فراهم آورد.

در ۷۴ درصد از آزمایشات، دامنه کاربرد سوپر جاذب بین ۲۶ تا ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین فراوانی مربوط به محدوده کاربرد ۴۱ تا ۸۰ و سپس ۸۱ تا ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار بود که ۴۷/۷ درصد از کل آزمایشات را شامل شد. پاسخ ماده خشک به کاربرد سوپر جاذب نسبت به پاسخ عملکرد دانه کمتر بود. میانگین مصرف ۸۳ کیلوگرم در هکتار از سوپرجاذب برای غلات، عملکرد دانه را به‌طور متوسط ۱۳/۲ درصد افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از سوپر جاذب مناسب‌ترین میزان با توجه به اندازه اثر بر عملکرد دانه و ماده خشک است. از سوی دیگر، با میانگین مصرف ۸۳ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب برای غلات، عملکرد دانه به‌طور میانگین ۱۳/۲ درصد افزایش نشان داد. اگر میزان آب مصرفی در یک مرتبه آبیاری غلات به‌طور تقریبی ۱۰۰۰ متر مکعب در نظر گرفته شود، کاهش فقط یک مرتبه آبیاری و سود ریالی ناشی از آن در کنار سود حاصل از افزایش عملکرد، بدون در نظر گرفتن مزایای غیرمستقیم اکولوژیکی و باقی‌مانده سوپرجاذب در خاک برای سال‌های بعد، می‌تواند استفاده از این نهاده در سطوح مختلف را توجیه کند.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه این پژوهش از محل اعتبارات طرح پژوهه شماره ۲/۴۳۹۳۳ مورخ ۱۳۹۶/۰۳/۰۱ توسط معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

1- Abedi-Koupai, J., Sohrab, J., and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. Journal of Plant Nutrition 31: 317-331. (in Persian with English abstract).
2- Allahdadi, A. B., Ghamsari, M., Akbari, G. A., and Zohourmehr, M. 2005. Study the effect of different levels of super absorbent polymer and irrigation on corn (*Zea mayz* L.) growth and yield. 3th Congress on Super Absorbent Hydrogel Application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemical of Iran. (in Persian with English abstract).
3- Allahyari, S., Golchin, A., and Vaezi, A. 2012. Study on effect of super absorbent polymer application on yield and yield components of two chickpea cultivars under rain fed conditions. Journal of Plant Production Research, 20 (1): 125-140. (in Persian with English abstract).
4- Austin, R. B., Bringham, J., Blackwell, R. D., Evans, L. T., Ford, M. A., Morgan, C. L., and Taylor, M. 1998. Genetic improvement in winter wheat yield since 1980 and associated physiological changes. Journal of Agricultural Science 84: 675-689.
5- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A., Sadeghi Lotfabadi, S., and Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rain fed crop yield in northeast of Iran. Field Crops Research 118: 105-114.
6- Bayat, M., Rostami, G., and Haddadiyan, M. A huge view on extractable water resources and the states of water supplying plans in Iran. Journal of Civil Engineering 39: 26-37.
7- Bowman, D. C., and Evans, R. Y. 1991. Calcium inhibition of polyacrylamide gel hydration is partially reversible by potassium. Horticultural Science 26 (8): 1063-1065.
8- Cerrato, M. E., and Blackmer, A. M. 1990. Comparison of models for describing; corn yield response to nitrogen fertilizer. Agronomy Journal 82: 138-143.
9- Chatzopoulos, F., Fugit, J. F., and Ouillous, L. 2000. Etu deocation function do different parameters dolabsption et alla desorption do Sodium retitule, European Polymer Journal 36: 51-60.

10- Dabhi, R., Bhatt, N., and Pandit, B. 2013. Super absorbent polymers-An innovative water saving technique for optimizing crop yield. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology 2 (10): 5333-5340.
11- Degaiorgi, C. F. 2002. Hydrogels for immobilization of bacteria used in treatment of metal contaminated wastes. Radiation Physics and Chemistry 63: 109-113.
12- Deng, X. P., Shan, L., Zhang, H., and Turner, N. C. 2006. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. Agricultural Water Management 80 (1-3): 23-40.
13- Jahan, M., Sohrabi, R., Doayi, F., and Amiri, M. B. 2013. Effect of super absorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mashhad (Iran). Journal of Agroecology 3 (2): 71-90. (in Persian with English abstract).
14- Gurevitch, J., and Hedges, L. V. 1999. Statistical issues in ecological meta-analyses. Ecology 80: 1142-1149.
15- Hedges, L. V., and Olkin, I. 1985. Statistical Methods for Meta-Analysis. New York: Academic Pub. ISBN-13: 978-0123363800.
16- Hedges, L. V., Gurevitch, J., and Curtis, P. S. 1999. The meta-analysis of response ratios in experimental ecology. Ecology 80: 1150-1156.
17- Hooman, H. A. 2007. Handbook of meta-analysis in scientific research. SAMT Pub. Tehran, Iran. ISBN: 978-964-530-314-1. (in Persian).
18- Islam M. R., Eneji, A. E. Ren, C., Li, J., and Hu, Y. 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. Scientific Research and Essays 6: 720-728.
19- Jahan, M., Ranjbar, F., and Kamayestani, N. 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low-input corn production system aimed to reduce drought stress. Agroecology 5 (3): 272-281. (in Persian with English abstract).
20- Jahan, M., Amiri, M. B., Naseri, N., Salehabadi, M., and Abbasi, S. Evaluation of principal components in water use efficiency (WUE) of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), sesame (*Sesamum indicum* L.) and maize (*Zea mays* L.) in response of the increased rates application of water super absorbent. (in Press).
21- Jahan, M., Amiri, M. B., and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation and comparison of different economic and environmental scenarios for bean (*Phaseolous vulgaris* L.) production via optimization of water superabsorbent, humic acid and cattle manure application. Iranian Journal of Pulses Research 8 (2): 10-30. (in Persian with English abstract).
22- Jahan, M., Amiri, M. B., and Noorbakhsh, F. 2017. Evaluation of the increased rates of water super absorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* using response surface methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (4): 746-764. (in Persian with English abstract).
23- Jahan, M., Ghalenoie, S., Khamooshi, A., and Amiri, M. B. 2014. Evaluation of agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by application of water-saving superabsorbent and humic acid under irrigation interval. Horticultural Science 29 (2): 240-254. (in Persian with English abstract).
24- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Ranjbar, F., Aryaee, M., and Kamayestani, N. 2013. The effects of super absorbent polymer and humic acid application in drought stress reduction and enhancing quantitative and qualitative yield of sugar beet under Mashhad conditions. Journal of Agroecology 6 (4): 753-766. (in Persian with English abstract).
25- Khadem, A., Ramroodi, M., Galavi, M., and Roosta, M. G. 2010. The effect of drought stress and application of different rates of manure and superabsorbent polymer on yield and yield components of *Zea mays* L. Iranian Journal of Crops Sciences 42 (1): 115-123. (in Persian with English abstract).
26- Kiniry, J. R., Bean, B., Xie, U., and Chen, P. 2004. Maize yield potential: critical processes and simulation modeling in a high-yielding environment. Agricultural Systems 82: 45-56.
27- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Bakhshaee, S., Davari, A., and Zare Zadeh, T. A meta-analysis of nitrogen fertilizer experiments for cereal crops in Iran. (in Press).
28- Koohestani, S., Asgari, N., and Maghsudi, K. 2009. Study the effect of super absorbent hydrogel on corn (*Zea mayz* L.) yield under drought stress. Journal of Iran Water Research 5: 71-78. (in Persian with English abstract).
29- Martin, C. A., Ruter, J. M., Robertson, R. W. and Sharp, W. P. 1993. Element absorption and hydration potential of polyacrylamide gels. Communications in Soil Science and Plant Analysis 24 (5-6): 539-548.
30- Martin, E. T. 1997. Controlled-Release and Stabilized Fertilizers in Agriculture. Published by the International Fertilizer Industry Association, Paris, France. ISBN 2-9506299-0-3.
31- Mirzaei, M., Rezvani, M. A., and Gohari, J. 2005. Effect of water stress at different growth stages on yield and some physiological characteristics of sugar beet. Journal of Sugar Beet 21 (1): 1-14. (in Persian with English abstract).
32- Monnig, S. 2005. Water saturated superabsorbent polymers used in high strength concrete. Otto Graf Journal 16: 193-202.

33- Moosavi Niya, M., and Attarpoor, A. 2004. Evaluation of the effect of superabsorbent polymer on deficit irrigation of turf grass. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
34- Morison, J. I. L., Baker, N. R., Mullineaux, P. M., and Davies, W. J. 2008. Improving water use in crop production. Advances in Water Resources 34 (2): 272-281.
35- Nelson, L. A., Voss, R. D., and Pesek, J. T. 1985. Agronomic and statistical evaluation of fertilizer response. P. 53-90. In: O. P. Engelstad (ed.) fertilizer technology and use. Third ed. ASA, Madison.
36- Neuman, L. W. 2000. Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches. 4th Edition, Allyn & Bacon, Needham Heights. ISBN 0205297714.
37- Nykanen, V. P. S., Nykanen, A., Puska, M. A., Goulart-Silva, G., and Ruokolainen, J. 2011. Dual-responsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate-substituted polyphosphazene. Soft Matter 7: 4414-4424.
38- Peng, S., Laza, R., Visperas, R., Sanico, A., Cassman, K. G., and Khush, G. 2000. Grain yield of rice cultivars and lines developed in the Philippines since 1966. Crop Science 40: 307-314.
39- Pornyazpour, A., Habib, D., and Roshan, B. 2007. What is super absorbent? Journal of Agricultural and Natural Resources Engineering 4 (15): 1-3. (in Persian with English abstract).
40- Rahmani, M., Habibi, D., Shirani Rad, A. M., and Daneshian, G. 2009. The effect of application of different amounts of super absorbent polymer on yield and antioxidant enzymes activity in *Sinapis arvensis* L. under drought stress conditions. Journal of Environmental Stress in Plants 1 (1): 23-38. (in Persian with English abstract).
41- Rajabi, L., Sajedi, N. A., and Roshandel, M. 2011. Yield and yield components response of *Cicer arietinum* to salicylic acid and superabsorbent polymer. Journal of Crop Production Research 4 (4): 343-353. (in Persian with English abstract).
42- Reza, A., Friedel, J. K., and Bodner, G. 2012. Improving Water Use Efficiency for Sustainable Agriculture. In: Agroecology and strategies for climate change Book Series: Sustainable Agriculture Reviews. Lichtfouse, E. (Eds.). 8: 167-211.
43- Roostayi, Kh., Movahhedi Dehnavi, M., Khadem, M., and Oliyayi, H. R. 2011. The effect of different rates of super absorbent polymer and manure on qualitative and quantitative characteristics of soybean under drought stress. Journal of Crop Production Research 14 (1): 33-42. (in Persian with English abstract).
44- Rosenthal, R. 2001. Meta-analysis: Recent development in quantitative methods for literature reviews. Annual Review of Psychology 52: 59-82.
45- Roshdi, M. 2012. Investigation of reproductive traits and yield of sunflower under different irrigation levels and super absorbent polymer. Journal of Crop Production Research 5 (4): 373-385. (in Persian with English abstract).
46- Salar, N., Farhpoor, M., and Baharim F. 2004. Evaluation of the effect of water super absorbent polymer on irrigation interval in melon cultivation. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
47- Setter, T. L., Brian, A., Lannigan, F., and Melkonian, J. 2001. Loss of kernel set due to water deficit and shade in maize: carbohydrate supplies, abscisic acid and cytokinins. Crop Science 41: 1530-1540.
48- Soltani, E., and Soltani, A. 2014. Meta-analysis of seed priming effects on germination: a case study in Iran. Abstract. 1st International and 13rd Iranian Seed Science and Technology Conference. August 24-26, Karaj, Iran.
49- Talayee, A., and Asadzade, A. 2004. Evaluation of the effect of superabsorbent hydrogels in drought mitigation on olive trees. Third workshop on superabsorbent Hydrogels application in Agriculture. Research Center for Polymer and Petrochemicals of Iran.
50- Van Groenigen, J. W., Lubbers, I. M., Vos, H. M. J., Brown, G. G., De Deyn, G. B., and Van Gronigen, K. J. 2014. Earthworms increase plant production: a meta-analysis. Scientific Reports 4: (6365): 1-7. DOI: 10.1038/srep06365.
51- Wang, W., and Wang, A. 2010. Nanocomposite of carboxymethyl cellulose and attapulgite as a novel pH-sensitive superabsorbent: Synthesis, characterization and properties. Carbohydrate Polymers 82: 83-91.
52- Wolf, F. 1986. Meta-Analysis: Quantitative Methods for Research Synthesis. Beverly Hills, CA: Sage.
53- Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X., and Wang, Y. 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. Chemical Engineering Journal 167: 342-348.
54- Yazdani, F., Allahdadi, A., Akbari, A., and Behbahani, M. R. 2007. The effect of different levels of super absorbent polymer (Rarawat A200) and different drought level on yield and yield components of soybean. Pajouhesh and Sazandegi in Agronomy and Horticulture 75: 168-174. (in Persian with English abstract).
55- Yousefi Fard, Y., Asare, A., and Kalhor, M. 2010. The effect of superabsorbent application on yield and yield components of *Zea mays* SC 704 under Lorestan conditions. Water Science and Engineering 1 (3): 7-16. (in Persian with English abstract).

56- Zhong, K., Lin, Z. T., Zheng, X. L., Jiang, G. B., Fang, Y. S., Mao, X. Y., and Liao, Z. W. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. Carbohydrate Polymers 92: 1367-1376.
57- Zhong, K., Zheng, X. L., Mao, X. Y., Lin, Z. T., and Jiang, G. B. 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. Carbohydrate Polymers 90: 820-826.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 207-220

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۲۲۰-۲۰۷

Meta-Analysis of the Effect of Super-Absorbent Application on Crops Yield in Iran

M. Jahan[1*], M. Nassiri Mahallati[2]

Received: 21-10-2017
Accepted: 12-08-2018

Introduction

The most fundamental agricultural obstacle particularly in arid and semi-arid regions is water shortage. To mitigate this problem, application of some soil amendments such as water super absorbent polymers (SAP) for increasing water-holding capacity in the soil has been under attention at commercial level in recent years.

Despite numerous studies in Iran and the apparent positive and various functions have been mentioned for SAP and their advantageous in agriculture, there has not been a precise conclusion about these studies. On the other hand, variations in consumption rate, conditions and experimental treatments, makes an impossibility or hardiness to receive a conclusive result for the researchers studying one or few numbers of relevant articles.

Meta-analysis is the statistical procedure for combining data from multiple studies. When the treatment effect (or effect size) is consistent from one study to the next, meta-analysis can be used to identify this common effect. When the effect varies from one study to the next, meta-analysis may be used to identify the reason for the variation. Decisions about the utility of an intervention or the validity of a hypothesis cannot be based on the results of a single study, because results typically vary from one study to the next. Rather, a mechanism is needed to synthesize data across studies (Rosenthal, 2001). Narrative reviews had been used for this purpose, but the narrative review is largely subjective (different experts can come to different conclusions) and becomes impossibly difficult when there are more than a few studies involved. Meta-analysis, by contrast, applies objective formulas (much as one would apply statistics to data within a single study), and can be used with any number of studies.

Therefore, this study was conducted with the aim of doing meta-analysis on the results of conducted researches in Iran and to answer a general question that whether the application of SAP has been successful or not, and if yes, how much of SAP is recommended.

Materials and Methods

To conduct this research, articles were published during 2006-2016 with the subject of the effect of different rates of SAP on yield and yield components of crops (including cereals, legumes, medicinal and rangeland plants) were investigated. Amongst 32 articles were checked, 13 articles have enough data to conduct the meta-analysis for seed yield, dry matter yield and harvest index.

Results and Discussion

The result of meta-analysis showed that the mean consumption rate of SAP for cereals, legumes, medicinal and rangeland plants were 83, 322, 1031 and 210 kg ha^{-1}, respectively, and with this consumption rate of SAP, the mean seed yield in cereals, medicinal plants and legumes increased by 13.2, 11.2 and 27.5% (equal to 1059, 345 and 452 kg ha^{-1}), respectively, compared with control.

Generally, the results showed that the effect of SAP on seed yield and dry matter was significant but was not significant for harvest index. The effect size of the application of different SAP rates on dry matter yield and at the whole levels was greater than its effect size on seed yield. The most effect size on seed yield was considered for the application of 100 kg ha^{-1} SAP and the application rates greater than 200 kg ha^{-1}, unlike the dry matter yield, had no significant effect on seed yield.

Conclusions

According to the results, it seems that application of 100 kg ha^{-1} SAP is the most appropriate rate on seed yield and dry matter increment and economical aspects. Design and implementation of the researches focused on estimation and comparison of economic benefits about water consumption as the result of SAP application can

1- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
2- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad
(*- Corresponding Author Email: jahan@um.ac.ir)

justify the relatively high cost of this ecological input and provide the necessary ground for its widespread use by farmers and producers involved in agronomy and horticultural sections.

Keywords: Cereals, Medicinal plants, Meta-analysis, Pulses